

УДК 553.81

Василь Гулій, Сергій Бекеша, Ірина Побережська

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005,
vgul@ukr.net*

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТРАДИЦІЙНИХ МІНЕРАЛІВ-ІНДИКАТОРІВ У ПРОЦЕСІ ПРОГНОЗУВАННЯ Й РОЗШУКІВ ПОТЕНЦІЙНО АЛМАЗОНОСНИХ ОБ'ЄКТІВ

Схарактеризовано особливості використання мінералів-супутників алмазу, які виявили ще під час перших розшукових робіт у другій половині XIX ст. в Південній Африці, а згодом і в інших регіонах світу. Проаналізовано результати залучення цих мінералів як індикаторів у процесі прогнозування, розшуків та оцінювання корінних алмазозносних порід різних генетичних типів. Наведено результати вивчення особливостей хімічного складу та характеру розподілу в різних геологічних формаціях піропу, пікроільменіту і хромшпінелідів – мінералів, що їх протягом майже всієї історії розшуків та розробки алмазних родовищ використовували як індикатори потенційно алмазозносних об'єктів. Виявлено причини залучення цих мінералів для прогнозних і розшукових цілей у різних регіонах та визначено доцільність їхнього використання в практиці геологорозвідувальних робіт на алмази в Україні. Створено й перевірено статистичні моделі розподілу окремих компонентів індикаторних мінералів з досліджених ділянок Приазовського блока Українського щита, які зачислено до перспективних. За результатами аналізу цих моделей виявлено значну неоднорідність геологічних матеріалів, які використовували для обґрунтування необхідності поглибленого вивчення таких ділянок. Зроблено висновок, що поки нема однозначних висновків про походження мінералів-супутників, їх не можна трактувати як індикатори алмазозносності без проведення комплексу додаткових досліджень.

Ключові слова: алмаз, мінерали-супутники, прогнозування, розшуки, Південна Африка, Якутія, Український щит.

Вступ. Звичайно документовану історію відкриття природного алмазу, його розшуків, промислової розробки його родовищ починають з 1867 р., коли в Південній Африці виявили кристали алмазу [23], грандіозні навіть за сучасними мірками. Водночас, за легендами й переказами, алмаз був відомий в Індії та Бразилії ще за століття до африканських знахідок, хоча відомостей щодо його промислового видобування нема. Вивчення історії відкриття відомих родовищ алмазу в світі дає змогу з'ясувати ключову роль тих мінералів, які його супроводжують і завдяки значно більшому поширенню сприяють відкриттю потенційно значимих об'єктів.

Досвід дослідження алмазу з родовищ різних генетичних типів засвідчує переважне значення супровідних мінералів, специфічних лише для певного генетичного типу; такі

мінерали під час розшукових робіт на ще не досліджених територіях можуть допомогти як у власне розшуках, так і у визначенні генетичного типу можливого джерела алмазу.

Постановка проблеми. Численні приклади прогнозних та розшукових успіхів і невдач під час вивчення алмазоносності різних територій пов'язані з застосуванням мінералів-супутників алмазу, які, зазвичай, виділяють на підставі їхньої просторової асоціації в алмазоносних породах. Через відсутність генетичних зв'язків між алмазом і цими мінералами можливі лише ймовірнісні висновки щодо наявності алмазу чи вірогідного збагачення ним тієї чи іншої породи. Тільки за наявності безпосередніх знахідок алмазу на перших етапах вивчення майбутнього (вірогідного) родовища та кількісної їх оцінки на тій чи іншій ділянці можливий подальший комерційний висновок про його долю. Отже, відомості про мінерали-супутники – це важливі, проте не вирішальні чинники з'ясування економічної цінності об'єкта.

Свого часу в процесі визначення перспективних на алмаз територій у колишньому СРСР Український щит (УЩ) також був об'єктом уваги, особливо після 1949 р., коли в аловії р. Базавлук відшукали алмаз. Проте нині склалася така ситуація, що за наявної системи вирізнення алмазів за походженням висновки стосовно виявлених у тих чи інших ділянках УЩ кристалів вельми неоднозначні; загалом це характерно і для інших алмазоносних регіонів світу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Після відкриття відомих масштабних родовищ алмазу в різних країнах у другій половині ХХ ст. здавалося, що подібні об'єкти в інших регіонах відшукають не скоро. Однак зняття різних грифів секретності на проблеми алмазоносності в СРСР та розробка наявних на той час родовищ сприяли появі значної інформації про родовища алмазу в докембрійських метаморфічних породах Кокчетавського підняття (Казахстан), імпакті алмази в Попігайській структурі (північ Сибіру) та відкриття нової алмазоносної провінції в Архангельській обл. і на суміжних територіях (Росія). Ще вагомішою подією (як економічно, так і з погляду науки) було відкриття нового генетичного типу алмазоносних порід – лампроїтів у Західній Австралії, де в районі Кімберлі почали розробляти одне з найбагатших у світі родовищ алмазу Аргайл.

Уже в ХХІ ст. стало відомо про знахідки алмазоносних порід у Канаді й Фінляндії, де вже функціонують потужні сучасні центри з видобування алмазу [28, 38]. Під час розшуків і розвідки цих родовищ використовували традиційні методи вивчення й відповідного застосування мінералів-індикаторів, однак через специфічні природні умови в полярних широтах було розроблено новий комплекс технічних і мінералогічних методів, які дають змогу виявляти алмази навіть під потужним льодовиковим чохлам на корінних породах.

Сучасний аналіз зусиль з розшуків алмазу за його супутниками в Україні [1, 15, 16, 24] засвідчує, що від самого початку прогнозуванням і оцінюванням можливих перспективних районів окремих частин УЩ займалися численні наукові й виробничі організації. Було визначено ділянки, де виконали буріння й опробування отриманого матеріалу для розшуків потенційно алмазоносних порід та виявлення можливих індикаторних мінералів і власне алмазу.

За результатами цих досліджень написано виробничі звіти, численні статті, низку монографій, захищено докторські й кандидатські дисертації [7–9, 22]. Більшість результатів, одержаних до 2005 р., використано в колективній монографії “Перспективы коренной алмазоносности Украины” (2006) [15], у якій підсумовано досягнення й невдачі

у прогнозуванні алмазонасних об'єктів на підставі регіональних геофізичних і мінералогічних критеріїв. Важливе значення монографії полягає в тому, що в ній схарактеризовано сучасний стан вивчення алмазонасності України, наведено систематизовані дані стосовно окремих перспективних ділянок та рекомендації щодо продовження в їхніх межах прогнозно-розшукових робіт.

Безумовно, заслуговують на увагу і будуть предметом аналізу результати досліджень можливих алмазонасних порід та ймовірних мінералів-супутників алмазу, викладені в колективній монографії “Поиски алмазов в Приазовском блоке Украинского щита” (2014) [16]. Її написано за результатами виробничих звітів і матеріалів, поданих у Наукову раду з прогнозування Державної геологічної служби України. Однак питання щодо розшуків родовищ, аналогічних до вже відомих у світі, типізації алмазонасних порід, прив'язки властивостей ймовірних мінералів-індикаторів до виявлених алмазів однозначно не з'ясовані. Попри наведені у працях [16, 24] посилання на роль працівників відомих фірм з розшуків і розробки алмазних родовищ, нині жоден з об'єктів, який визначено перспективним, не є для них привабливим.

Мета статті – проаналізувати використання мінералів-супутників алмазу для прогнозних і розшукових цілей, визначити доцільність їхнього використання для кожного генетичного типу алмазонасних порід, схарактеризувати створені статистичні моделі розподілу окремих компонентів мінералів-супутників для оцінки можливих перспектив їхнього використання під час вивчення алмазонасності різних ділянок УЩ. Для підготовки й обґрунтування кількісних показників у матеріалах, що їх подають для розгляду Науковою радою з прогнозування Державної геологічної служби України, потрібно виробити послідовність виявлення вагомих показників хімічного складу й поширення мінералів-індикаторів з прив'язуванням до виявлених алмазів.

Значення мінералів-супутників у відкритті кімберлітових родовищ алмазу Південної Африки і подальших розшуках алмазів у світі. Після знахідок алмазу в далекому 1867 р. біля містечка Хоуптаун серед офіційних повідомлень траплялися згадки про виявлені поблизу алмази і в 1868 р., і в подальші десятиріччя. І хоча є суперечності щодо часу відкриття нових ділянок, багатих на алмаз, для нашої мети важливими є відомості про те, що їх відшукували поблизу попередніх “щасливих” місць. Ще одним повчальним фактом є швидкість організації робіт з вилучення алмазу з виявлених розсипищ, а згодом – і відкриття корінних родовищ [31, 34]. Які критерії використовували під час започаткування бізнесу з вилучення алмазів – достеменно не відомо, однак свідчень про відсутність у більшості випадків спеціальної освіти у організаторів алмазної промисловості також нема.

Водночас створення компаній з розроблення виявлених корінних родовищ, їхнє об'єднання й перетворення у великі корпорації супроводжувалось залученням фахівців, які надавали ґрунтовні відомості щодо складу порід, особливостей розподілу в них алмазів, а також прогнозували можливі знахідки поблизу вже відомих родовищ [32, 34]. Залишається дивуватися вмінню тодішніх геологів складати детальні звіти про петрографічний склад порід на родовищах та характеризувати окремі властивості мінералів, що супроводжують алмаз. Зокрема, у статтях того часу [44] часто згадують хромдіопсид, ільменіт, яскраво-червоний гранат, які сьогодні прийнято називати мінералами-індикаторами наявності алмазу.

Хоча термін *кімберліт* і його визначення з'явилися в описах алмазонасних порід не відразу, та їхня детальна петрографічна характеристика дає змогу сучасному читачеві

діагностувати ці породи. Коли термін усталився в літературі, геологи та підприємці з розробки алмазних родовищ США, Канади, Бразилії [24, 35] почали використовувати особливості цих порід для порівняння із знайденими на їхніх територіях.

На початку ХХ ст. з'явилися відомості про знахідки алмазу не тільки в кімберлітах, а й у інших утвореннях. Зокрема, у Британській Колумбії (Канада) алмази в корінному заляганні виявили в хромітових рудах [27], хоча питання про асоціацію алмазу з хромітом в офіолітових комплексах стало актуальне тільки в наші дні. Подібні до них породи в штаті Арканзас (США) стали об'єктом промислової розробки, однак нині це місце перетворене на музей під відкритим небом для тих, хто бажає відчувати себе шукачем алмазів [41].

Є відомості про давні знахідки алмазів золотошукачами в Бразилії й Болівії, причому в тих районах, де кімберлітів нема, а мінерали-індикатори відрізнялись від звичних для кімберлітів [31, 42]. Джерелом постачання алмазів у розсипища тут уважали докембрійські породи фундаменту. І хоча проблему походження таких алмазів (як і в подібних утвореннях Індії) досі остаточно не вирішено, видобуток алювіальних алмазів у цих країнах досить масштабний.

Панує думка, що великим стимулом для відкриття якутських кімберлітів і алмазів свого часу в Радянському Союзі стала потреба мати власні алмази. Причин для цього було багато, у тім числі економічна блокада тодішніх "імперіалістичних" країн і, зокрема, Великої Британії. Наприкінці 1930-х рр. у СРСР започаткували масштабні розшуки алмазоносних джерел, для чого створили численні нові спеціалізовані структури, а ті, що вже функціонували, переорієнтували на розшуки алмазів. Тоді вже була відома Уральська алмазоносна провінція, у межах якої мінерал видобували з розсипищ, причому в кількості, яка більш-менш задовольняла наявні потреби. Проте й нині дані про тодішні об'єми видобутку є "за сімома замками", незважаючи на деклароване відкриття відомостей в алмазній сфері. Та важливим є сам факт існування такого промислу, а, отже, і його супутньої науково-методичної основи, про яку ми досі нічого не знаємо.

Реальний стан справ з розшуками нових розсипних родовищ алмазу в ті часи на Уралі відображає загальні проблеми, які виникали через відсутність розроблених прогностичних критеріїв і неправильне визначення генетичного типу вихідних алмазоносних порід (до речі, подібна ситуація є й нині). Грунтуючись на ідеї про зв'язок алмазів з розсипищами платини, увагу зосереджували на базит-гіпербазитових хромітоносних комплексах, тому розшуки нових алмазоносних ділянок були зосереджені на східному схилі Уралу. Лише драматичні аргументи Н. Введенської та цілковита відсутність позитивних результатів змусили керівників галузі переорієнтувати всі роботи на західний схил, хоча реальних наукових обґрунтувань для цього не було.

Загалом у тодішньому Радянському Союзі під час організації грандіозних робіт з визначення перспективних районів та розроблення методики розшуків алмазу практично не було власне наукового прогнозу щодо можливих алмазоносних районів. Доволі анекдотичним видається залучення до цього М. Ломоносова – як провидця в багатьох гірничих справах загалом та як першого автора прогнозів алмазоносності, зокрема (очевидно, на підставі спогадів про його слова (1763 р.), що "могутство России прирастает будет Сибирью и Северным океаном"), та О. Гумбольдта, який подорожував по Уральських горах і обіцяв російському царю подарувати уральський алмаз (і таки подарував його: великий алмаз О. Гумбольдту дав кріпак-старатель зі свого лотка, яким він мив золото) [23]. Уже не так весело виглядають численні публікації щодо прогнозів алмазоносності півночі Сибірської платформи на підставі чи то монографії про вивчення тра-

пів [19] (хоча в ній нема навіть згадок про алмаз, а за часом формування магматичні трапи відрізняються від кімберлітів), чи то думок про можливе знесення алмазів з північних регіонів, включно з Анабарським щитом [10, 14].

Про повну невизначеність, де шукати алмази, свідчить факт розсилання директивних циркулярів стосовно “переорієнтування й інтенсифікації розшуків алмазів” у Середній Азії, Україні, у різних районах Сибіру й Далекого Сходу. Та як це виконати? Відповіді на запитання, що шукати і як шукати, повинні були міститися в наявних інструкціях про методику проведення робіт, однак у численних публікаціях фахівців сказано, що вони були в “сейфах великих начальників” і знайшли їх тільки після 1992 р. Проте, знаючи “закони жанру”, важко повірити, що тисячні колективи, оснащені потужною на той час технікою, транспортом та ін., могли працювати так анархічно. Саме за порушення інструкцій чи за “вільне” їх трактування в ті часи можна було потрапити в ліпшому випадку в “шарашку”, де складали пакетики. Безперечно, такі інструкції були, і їх активно використовували, про що свідчить, наприклад, зазначена в списку літератури до книги Е. Расвського (1959) [17] “алмазна” інструкція 1947 р. за авторством О. Бурова.

Чому ж ці інструкції приховують навіть сьогодні? Очевидно, тому, що з них випливає висновок про проведення робіт наосліп за, можливо, правильного технічного режиму відбирання проб та їхнього оброблення для виявлення в них алмазів; обґрунтування того, де саме ці проби треба відбирати, не було. Ідеї, на яких ґрунтувались інструкції, спрямовували геологів шукати алмази на трапових полях, у скарнових утвореннях, які їх супроводжують, на міфічних північних територіях, з яких зносились алмази, що їх відшукували в алювії багатьох рік, а ці ріки течуть через трапові поля й цілу Сибірську платформу. Зазначимо, що чарівні слова *кімберліти* чи *кімберлітоподібні породи* стосовно Сибірської платформи тоді вже прозвучали [12], однак завдяки рідкісним людським якостям їх автора – Г. Моора (!) – вони звучали дуже тихо й тому загубились у вихорі подій.

Натомість розшуки провадили за мінералогічними ознаками супутників алмазу, звичних для платинових родовищ, мінералів трапів тощо. У своєму щоденнику Л. Попугаєва, першовідкривач кімберлітів і родовищ алмазу в Якутії, з гіркотою пише, що “...сьогодні буде день невдалий, бо за маршрутом не передбачаються трапи” [14].

У намаганні обґрунтувати свій, радянський геологічний шлях у розшуках алмазів не тільки журналісти чи історики, а й геологи часто пишуть, що в той час не знали праць іноземних фахівців з методики розшуків алмазу в кімберлітах і використання для цього відповідних мінералів-супутників, проте численні наукові публікації того періоду легко відшукати й нині [30, 32]. З’явилися тоді й ґрунтовні монографічні узагальнення про корінні родовища алмазу в кімберлітових трубках Південної Африки та методику розшуків; у цих працях нема навіть натяків на зв’язок алмазів з трапами.

Важливим безпосереднім джерелом інформації стали відвідини кімберлітових родовищ Південної Африки радянськими геологами Д. Мушкетовим і М. Федоровським під час XV Міжнародного геологічного конгресу (Преторія, 1929). Для учасників конгресу організували не просто екскурсії, вони мали змогу зібрати колекцію взірців та ознайомитися з повним циклом вилучення алмазів – від породи до концентрату [39]. Можливо, саме за ці (санкціоновані владою!) відвідини “імперіалістичного заходу” Д. Мушкетова 1938 р. розстріляли, а М. Федоровському “повезло” – він потрапив у табори, хоча й надовго. Після повернення з конгресу М. Федоровський встиг опублікував книгу “В стране золота и алмазов” (1934).

Стосовно обізнаності радянських геологів з зарубіжною науковою літературою значимо таке. У списку літератури нещодавно опублікованого звіту Н. Сарсадських та Л. Попугасвої [14], складеному за результатами розшуків і відкриття 1954 р. алмазної трубки Зарница, міститься добра дюжина зарубіжних видань з позначкою про переклад їх з англійської мови. Видається, що з них можна було б дізнатися багато чого про відомі на той час кімберлітові родовища, методику їхніх розшуків, про відкриття й освоєння цих родовищ [18]. Отже, радянські шукачі алмазів того часу були значно більше інформовані про світовий досвід, аніж нині намагаються довести.

Завдяки таланту, наполегливості, самозреченню авторам знахідок кімберлітів і алмазів в якутській тайзі вдалося започаткувати основи мінералогічних досліджень алмазоносних порід і розробити систему розшуків ще не відкритих кімберлітових трубок за знахідками піропу, пікроільменіту, хромдіопсиду та власне алмазу [3]. Після цього настав період усвідомлення можливих процесів, що привели до формування алмазних родовищ цього генетичного типу, та значення мінералів-супутників алмазу.

Наступна за часом епопея алмазних знахідок у Радянському Союзі, відомості про що були суворо засекречені, пов'язана з виявленням імпактних алмазів у Попігайській структурі та відкриттям нової алмазоносної провінції в Архангельській області й на суміжних територіях [23, 25]. Завдяки великій організаційній роботі В. Масайтіса вивчили умови локалізації алмазів у Попігайській структурі та навіть виконали оцінку запасів. Крім традиційних, звичних для кімберлітових районів мінералогічних методів розшуків алмазу, в Архангельській області почали широко застосовувати геофізичні методи. Магнітометричні знімання сприяли виявленню аномалій, які потім завіряли бурінням, а оцінку аномалій перевіряли за допомогою мінералого-геохімічних досліджень.

Значення розкриття інформації в Казахстані про Кумдикольське родовище алмазів та низки подібних рудопроявів у докембрійських метаморфічних породах на Кокчетавському піднятті [13] важко переоцінити. Ці об'єкти відшукали ще в 1970-ті роки під час обстеження розсипищ циркону; розвідували їх як "родовища дрібних алмазів кумдикольського типу". На думку геологорозвідників, алмазоносними є різні метаморфічні й метасоматичні породи, серед яких залягають еклогіти. За результатами опробування, найменше збагачені алмазом саме еклогіти, хоча є загальноприйнята думка про еклогітове походження алмазу за умов високих значень тиску й температури. Не вдаючись у дискусію про суперечність таких поглядів, зазначимо два важливі наслідки наявності таких родовищ: 1) мінерали-супутники алмазу в них дуже відрізняються від звичних для ендегенних алмазоносних порід супутників; 2) за природних геологічних умов не тільки кімберліти "забезпечують" утворення алмазних концентрацій.

Наведений вище огляд історії використання мінералів-супутників алмазу та особливостей його родовищ різного генетичного типу засвідчує, що, попри перехід від промишляння породи лотком до вилучення алмазів на тодішніх великих підприємствах, це був єдиний шлях для виявлення й оцінювання нових покладів алмазу на недосліджених територіях. Саме так відкрили після перших колосальних родовищ алмазу в Південній Африці інші значні за масштабом родовища, а пізніше – навіть алмазоносні провінції в Сибіру й Австралії. В обох цих регіонах численні шукачі розсипного золота здавна повідомляли про знахідки супутніх алмазів, однак систематичні розшуки корінних родовищ розпочали порівняно недавно.

Показовим є приклад розшуків алмазу в Австралії, де фактично геологу-одинаку, який отримав ліцензію на дослідження вельми неперспективної території, вдалося, всу-

переч догмам, не тільки відкрити унікальні родовища, а й довести, що не лише кімберліти алмазоносні [6, 26]. Основним використовуваним методом було промивання проб зі всіх водотоків ліцензійної території, а після цього – завіряння виявлених аномалій, і як наслідок – відкриття століття! Загальне значення відкриття цієї алмазоносної провінції важко переоцінити, оскільки за тогочасними канонами алмазів там не мало бути. Йдеться про те, що узагальнення, зроблене Т. Кліффордом [26] для певного регіону, підняли до рангу загальних закономірностей поширення алмазів у світі (так зване правило Кліффорда), а розшуки перспективних об'єктів за мінералами-супутниками не давали результатів через певні неоднозначності.

Активне використання шліхових проб і масове аналізування мінералів-індикаторів дали змогу останніми десятиріччями відкрити численні родовища алмазів у кількох регіонах Канади [28, 33, 36]; за рекордний (навіть для сьогодення) час вони перетворилися на шість промислових об'єктів. Унаслідок значного розвитку льодовикових відкладів за умов полярної частини Канади розшуки й використання звичних мінералів-індикаторів доповнили іншими мінералами (наприклад, сфалеритом). У розшуковій методиці акцент змістили на розшуки таких мінералів з певними властивостями, зокрема, на дослідження складу включень в алмазі з продуктивних утворень [43].

Отже, безперечно, що мінерали-супутники – від часу виявлення їх як супутників алмазу в алювіальних відкладах до наших днів, коли їх аналізують у корінному заляганні, – сприяли відкриттю родовищ алмазу. Проте в багатьох випадках алмазу в пробі буває більше, ніж якогось мінералу-супутника, або ж цих супутників зовсім нема (до речі, причини цього досі однозначно не з'ясовані). Такі обставини зумовлюють необхідність оцінювати кожен із потенційно перспективних об'єктів індивідуально, про що зазначали ще першовідкривачі алмазних родовищ.

Нині розроблено низку програм для інтерпретації матеріалу, що його отримують під час розшукових робіт. Кількість аналізів хімічного складу традиційних мінералів-супутників алмазу, виконаних у різних наукових установах, організаціях і фірмах, досягає десятків і сотень тисяч. За допомогою численних діаграм, на яких виділено окремі поля за результатами вивчення мінералів еталонних алмазоносних об'єктів, порівнюють склад мінералів досліджуваних об'єктів з уже відомими та з визначеними промисловими показниками. Хоча такий підхід нині загальноприйнятий, у ньому є низка обмежень. По-перше, у багатьох випадках звичних мінералів-супутників алмазу нема в достатній кількості, тому вони не можуть бути індикаторними для об'єкта. Друга, більш фундаментальна проблема пов'язана з імовірнісним характером зв'язку алмазу з супровідними мінералами. Відсутність генетичного обґрунтування таких просторових зв'язків приводить у ліпшому випадку до випадкового їх збігу.

Методи, які використовують для прогнозування потенційно алмазоносних порід, з часом теж суттєво не змінилися. Збільшення кількості потенційно промислових об'єктів нині пов'язане, найвірогідніше, зі збільшенням асигнувань на перевірку потенційних аномалій на порівняно сприятливих геолого-структурних ділянках, а не з ростом ефективності прогнозів.

Автори нещодавньої монографії з розшукової мінералогії [2] проаналізували методу робіт під час розшуків алмазів на Сибірській платформі в ХХ ст. та сучасний стан розшукової мінералогії з використанням мінералів-супутників і дійшли висновку, що з позицій нинішніх знань та наявного досвіду тодішня методика не мала шансів на успіх, а сучасні досягнення анітрохи не сприяють підвищенню ефективності розшукових ро-

біт: ми “...досягли сяючої вершини, проте замість кінця шляху побачили нескінченну дорогу” [2, с. 16]. З такою оцінкою важко не погодитись.

Однак зазначимо, що і сам алмаз може “розповісти” про свою долю і допомогти в розшуках сингенетичних мінералів. Нині впроваджують методику підрахунку ресурсів алмазу в окремих об’єктах з урахуванням наявності алмазів дрібних і дуже дрібних фракцій [30], якими, зазвичай, нехтують. З’ясовано, що саме ці дрібні фракції містять алмази, особливості яких можуть допомогти у визначенні генезису мінералу, оскільки, як виявили О. Варшавський та Г. Буланова [2], вони утворювались за інших обставин, порівняно з більшими алмазами.

Про алмазні реалії в Україні. Завдяки багаторічним розшуковим і науково-дослідним роботам з’ясовано, що УЩ має перспективи для відкриття родовищ алмазу кімберлітового й лампроїтового типів [15, 16]. Ця загальна позитивна оцінка перспектив корінної алмазоносності потребує подальшого обґрунтування й деталізації на підставі сучасних петрологічних, мінералогічних, геохімічних та ізотопно-геохімічних досліджень уже відомих кімберлітів, лампроїтів та їхніх індикаторних мінералів.

Викладені вище проблемні питання генезису, прогнозування, розшуків та виявлення корінних родовищ алмазу, звичайно, не минули й українських дослідників. Починаючи з 1950-х рр., інтелектуальні й матеріальні “витрати” вітчизняних геологів були спрямовані на виявлення корінних родовищ у межах УЩ та його схилів; це привело до виявлення окремих кристалів і зерен алмазу, його традиційних мінералів-супутників, а також до виділення локальних площ поширення порід, перспективних на алмаз, на підставі загальноприйнятих ознак. Наявні численні публікації й декларовані в різній формі заяви про сенсаційні знахідки великих алмазів [7–9, 22], проте офіційно зафіксованими слід уважати тільки ресурси дрібних алмазів, затверджені Науковою радою з прогнозних ресурсів Державної геологічної служби України за категоріями Р2 і Р3 по об’єктах Приазовського геоблока.

Причини такого стану вбачають [1, 15, 16] у складності геологічної будови УЩ, незначних об’ємах виконаних досліджень та низці методичних упущень: це знову ж таки відсутність науково обґрунтованої методики геологорозвідувальних робіт, проведення шліхових випробувань, головню, сучасного алювію, неоднозначність у виборі ознак виділення перспективних ділянок за результатами геофізичних досліджень, відсутність детальних петрографічних та мінералого-геохімічних досліджень навіть визначених меланократових і дрібнозернистих порід неоднозначного походження тощо. Тому не зовсім зрозуміло, як після цих упущень зроблено висновок про наявність в Україні корінних родовищ алмазу [15].

До загальних світових проблем відкриття родовищ алмазу додаються власні вітчизняні проблеми, пов’язані з суб’єктивними причинами: невірним вибором і реалізацією традиційних методичних підходів у алмазній геології. Ситуація ускладнюється й тим, що вже виявлені знахідки алмазу не вдається однозначно прив’язати до того чи іншого можливого промислового типу родовищ [11]. Незважаючи на зусилля зі створення галузевого стандарту “Визначення походження алмазів. Методичні рекомендації” (розроблений фахівцями Кримського відділення УкрДГРІ), природа великої частки знайдених дрібних алмазів досі дискусійна.

Наприклад, під час вивчення й визначення найперспективніших метаморфогенних комплексів Середнього Побужжя й опробування головних різновидів порід В. Соколов [5] відшукав в алювіальних відкладах басейну р. Синюха (Голованівська площа) алмази

кімберлітового, еклогітового та невизначеного типів. На цій підставі обґрунтовано рекомендації з розшуків корінних джерел алмазу кімберлітового або еклогітового типу в зонах розломів з інтрузивами ультрабазитів. Безпосередньо в кернових пробах порід цієї ділянки під час збагачення виявили дрібні алмази кумдикольського типу.

Загальний стан робіт і досягнень на досліджуваних проявах можна схарактеризувати словами одного з провідних фахівців у цій галузі: це місця, де “багато мінералів-індикаторів з рисами, характерними рівною мірою і для алмазоносних, і для “пустих” порід”. Отже, потрібно оцінити вже отриманий матеріал з можливим виділенням фонових та аномальних показників. Саме тому (у розвиток наших попередніх досліджень [4]) ми мали на меті виконати кількісну оцінку того наявного матеріалу, який містить інформацію про склад та особливості розподілу ймовірних мінералів-супутників алмазу в межах окремих ділянок УЩ.

У багатьох інституціях світу запровадили масове вивчення мінералів-супутників для того, щоб відшукати зв'язок між їхнім хімічним складом та алмазоносністю порід типових родовищ. На підставі велетенської кількості виконаних хімічних аналізів мінералів-супутників алмазу з'ясовано, що з ним асоціюють мінерали тільки певного складу, і визначено їхні поля, у межах яких трапляються промислові об'єкти [33, 37]. Для оцінки потенційної алмазоносності запропоновано такі бінарні діаграми: для гранату – CaO–Cr₂O₃, для хроміту й ільменіту – Cr₂O₃–MgO [20, 21, 40].

Проте на підставі вивчення хімічного складу цих мінералів зроблено висновок, що вони можуть бути і в алмазовмісних трубках, і в трубках без алмазів [2, 5]. Це особливо важливо для визначення джерела специфічних за морфологією та властивостями алмазів докембрійських платформ загалом [13] та, зокрема, для вивчення проблеми корових джерел алмазу на УЩ [1, 15]. Знахідки таких алмазів засвідчили, що, крім умовно мантийного джерела алмазів й обмеженого за складом (еклогіт і перидотит) та геодинамічним режимом, можуть бути й інші варіанти. З 1999 р. відомий ще один тип глибинних алмазоносних порід (крім кімберлітів і лампроїтів): у Французькій Гвіані виявили ураганні вмісти алмазу (від одного до 77 кристалів на кілограм) у коматітах [29], що, за аналогією, дає змогу пов'язувати знахідки певних типів алмазу в неогенових розсипах на УЩ з коматітами [4]. До цього можна додати алмазоносні об'єкти в регіонально-метаморфізованих утвореннях (Кумдикольське родовище та Барчинська алмазоносна зона Кокчетавського підняття в Казахстані, масив Дабе Шань у Китаї, Шуміхінський гнейсовий купол на Уралі, еклогіт-гнейсовий комплекс Західної Норвегії) та знахідки алмазів у графітових сланцях Ліберії [13]. Тому коло всіх можливих джерел алмазу нині значно збільшилося, і, можливо, у широкому плані праві автори праці [1], які для розшуків алмазів в Україні пропонують великий набір формацій: від кімберліт-лампроїтових до осадових і метаморфічних.

Традиційними мінералами, що їх використовують як індикаторні для оцінки потенційних алмазоносних об'єктів, є піроп, пікроільменіт і хромшпінеліди. Якщо піроп і пікроільменіт – це вже звичні індикаторні мінерали для різноманітних побудов, то хромшпінеліди тільки останнім часом (у силу специфічного складу певних алмазоносних утворень) почали інтенсивно застосовувати в практиці геологорозвідувальних робіт на алмаз.

Піроп. Використання бінарної діаграми Cr₂O₃–CaO для складу піропу дає змогу отримувати інформацію й обґрунтування для виділення окремих його різновидів у породах з різними перспективами, а також вирізняти ореоли, утворені мінералами різного

генезису. Ми використали таку діаграму (рис. 1) з метою виявити подібності й відмінності у складі піропу з різних генетичних утворень (вибірки скомпоновано за результатами аналізів піропу окремих ділянок Приазовського блока УЩ, відомих як перспективні), а також для оцінки можливості визначення генетичних типів порід району.

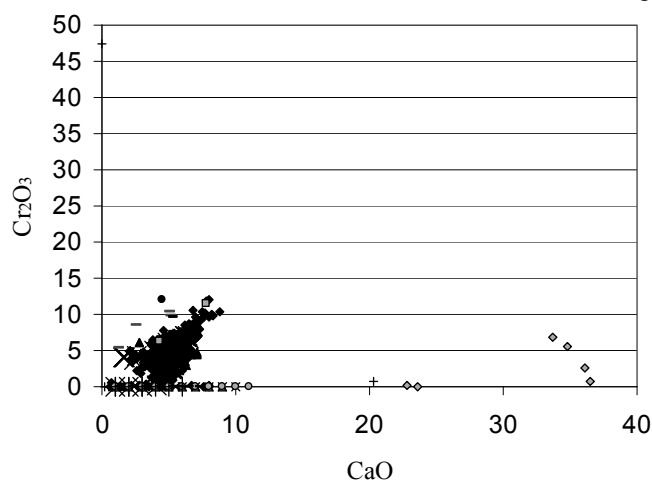


Рис. 1. Діаграма CaO–Cr₂O₃ для складу піропів Приазовського блока, мас. %.

Фігуративні точки використаних аналізів (див. рис. 1) формують єдине суцільне поле без можливості його інтерпретації. Тільки поодинокі проби представлені гранатом, значно збагаченим кальцієм; очевидно, вони не стосуються кімберлітів. Щоб пояснити отриману картину розподілу компонентів піропу (у доповнення до звичних прийомів аналізу розподілу вмісту Cr₂O₃–CaO у піропі різного походження), ми використали також гістограми розподілу вмісту Cr₂O₃ і CaO для окремих груп гранату (рис. 2), які дають змогу за результатами аналізу графіків виділити в межах уже єдиних масивів можливо різні за генезисом піропи. З аналізу гістограм випливає, що гранати представлені різними групами, серед яких є мінерали, по-різному збагачені Cr₂O₃ за наявності одного джерела кальцію.

Попри отриману картину неоднорідності складу піропу, фігуративні точки аналізованих піропів на діаграмі алмазозосних піропів (рис. 3) потрапляють у перспективне поле (з незначними відхиленнями від загальної групи).

На трикутній діаграмі Ca–Mg–(Fe²⁺+Mn²⁺) (гросуляр–піроп–(альмандин + спесартин)) (рис. 4) розподіл фігуративних точок аналізованих мінералів ще більш неоднорідний: вони є в секторі альмандину–спесартину, у полі включень в алмазах ультраосновного парагенезису та полі ксенолітів перидотитів; у полі включень в алмазах еклогітового парагенезису вони не потрапили.

Аналіз отриманих результатів щодо гранатів, виявлених у межах Приазовського блока, засвідчує, з одного боку, подібність окремих їх груп до піропів з типових алмазозосних регіонів, а з другого, – накладення полів поширення гранатів з алмазозосних і непродуктивних кімберлітових і лампроїтових утворень. Отже, на підставі таких показників неможливо розділити породи на окремі генетичні групи й використати для визначення цих порід, як пропонували раніше деякі дослідники, додатковий термін *гібридні породи*.

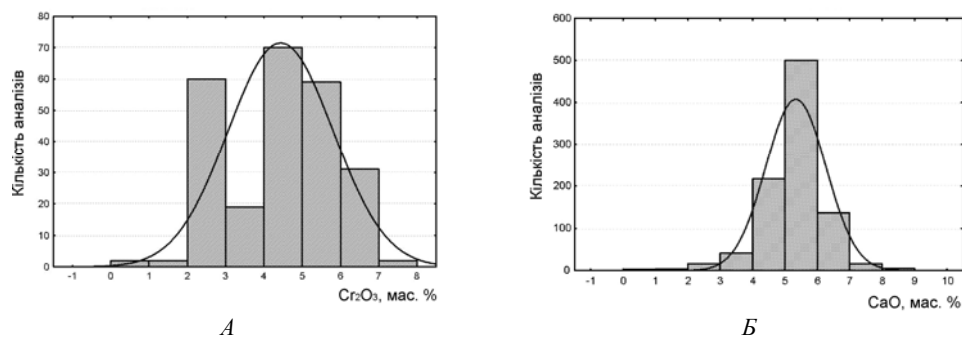


Рис. 2. Гістограми розподілу вмісту Cr_2O_3 (А) і CaO (Б) у піропах різних ділянок Приазов'я, мас. %.

А: кількість аналізів $n = 245$; середнє значення – 4,40; стандартне відхилення – 1,37; максимальнє значення – 7,08, мінімальнє – 0,22; Б: $n = 942$; середнє значення – 5,30; стандартне відхилення – 0,92; максимальнє значення – 8,81, мінімальнє – 0,63.

Рис. 3. Хімічний склад та парагенезис гранатів із трубки Південна в координатах Cr_2O_3 – CaO , мас. % [20].

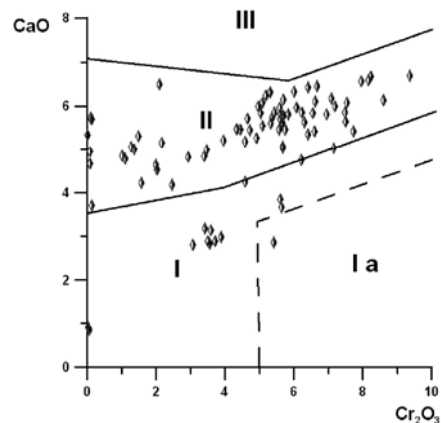
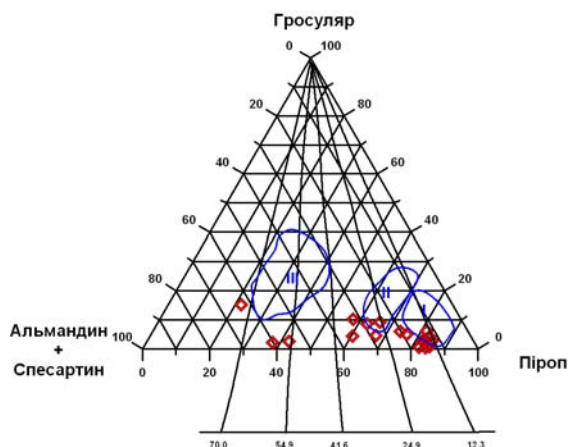


Рис. 4. Хімічний склад і залізистість гранатів із кімберлітової трубки Південна в координатах $\text{Ca-Mg-(Fe}^{2+}+\text{Mn}^{2+})$ [20, 21].

Контури полів гранату з: I – включень в алмазах ультраосновного парагенезису; II – ксенолітів перидотитів (гарцбургітів, лерцолітів, верлітів); III – включень в алмазах еклотитового парагенезису.



Пікроільменіт. Ільменіт – характерний мінерал кімберлітів, він часто домінує у важкій фракції порід, що асоціюють з ними. Основні закономірності розподілу зерен різної природи, виявлені для піропів за результатами аналізу різних діаграм і гістограм (див. рис. 1, 2), притаманні й пікроільменіту. На загальноприйнятій трикутній діаграмі $MgTiO_3$ – $FeTiO_3$ – Fe_2O_3 (рис. 5) наявні або перекриття полів складу відповідних показників, або ж їхнє збігання зі складом пікроільменіту відомих алмазоносних районів.

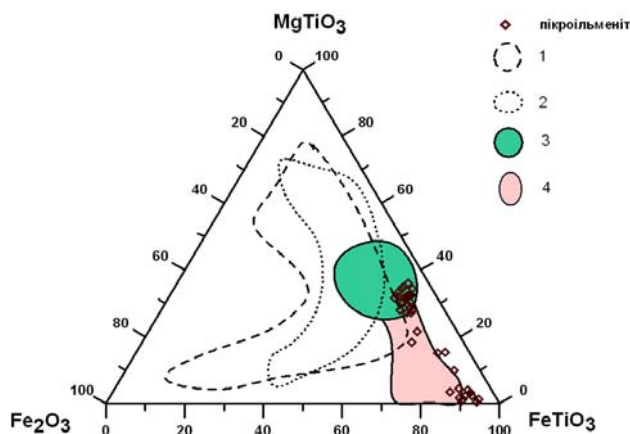


Рис. 5. Діаграма $MgTiO_3$ – $FeTiO_3$ – Fe_2O_3 для пікроільменіту й Мп-ільменіту, який псевдоморфно замістив його, з кімберлітів:

1 – Південна Африка; 2 – Якутія; 3, 4 – Східне Приазов'я; 3 – пікроільменіт, 4 – Мп-ільменіт.

Водночас і для пікроільменіту виявився інформативним аналіз гістограм розподілу компонентів (рис. 6), оскільки він також засвідчив гетерогенність аналізованого матеріалу і дав змогу зробити такий попередній висновок: у розподілі вмісту TiO_2 і, особливо, Cr_2O_3 наявні окремі максимуми, які доводять, що масиви значень сформовано за даними, отриманими з генетично різного матеріалу, який надалі треба деталізувати й розділити на окремі групи.

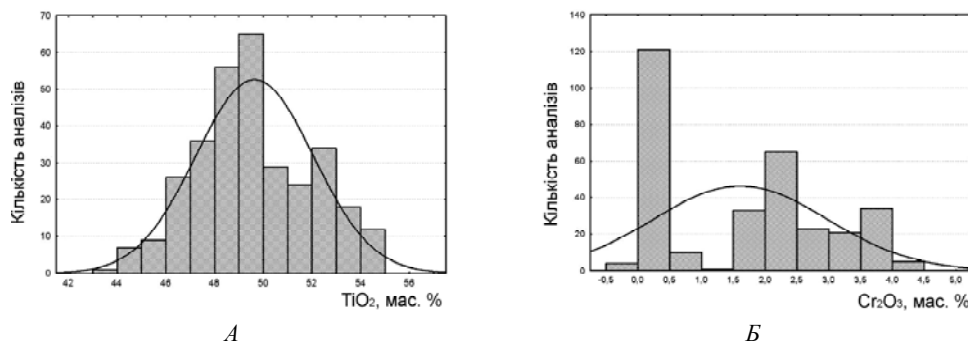


Рис. 6. Гістограми розподілу вмісту TiO_2 (А) і Cr_2O_3 (Б) у загальних вибірках ільменіту з різних ділянок Приазов'я, мас. %.

А: $n = 317$; середнє значення – 49,60; стандартне відхилення – 2,40; максимальне значення – 54,94, мінімальне – 43,19; Б: $n = 317$; середнє значення – 1,60; стандартне відхилення – 1,36; максимальне значення – 4,47, мінімальне – 0,00.

Хромшпінелід – характерний мінерал-індикатор кімберлітів, а його хімічний склад є одним з важливих критеріїв алмазозносності [2]. Під час шліхових випробувань йому ще донедавна відводили другорядну роль, оскільки в “класичних” кімберлітах його вміст, зазвичай, набагато нижчий від умісту піропу й пікроільменіту (які, до того ж, легко діагностувати навіть за польових умов). Зауважимо, що хромшпінелід – мінерал полігенний і трапляється в багатьох типах магматичних утворень: в альпінотипних ультрабазитах, платформних базит-гіпербазитових інтрузивних породах, меймечитах, пікритих, лампрофірах, коматіїтах, базальтах, трапах тощо. Значна частина цих порід може постачати хромшпінелід у пухкі платформні відклади, де він змішуватиметься з хромшпінелідом кімберлітового генезису. Склад хромшпінелідів зазначених порід часто широко перекривається, що утруднює використання цього мінералу для типізації шліхових ореолів та ідентифікації їхніх першоджерел.

Попри значну неоднорідність у хімічному складі хромшпінелідів Приазовського блока, на діаграмі $MgO-Cr_2O_3$ чітко виявлені два поля фігуративних точок (рис. 7), які найбільше відрізняються за вмістом хрому. Ці поля засвідчують наявність принаймні двох генетичних груп хромшпінелідів, хоча для визначення їхніх джерел також потрібні додаткові дослідження.

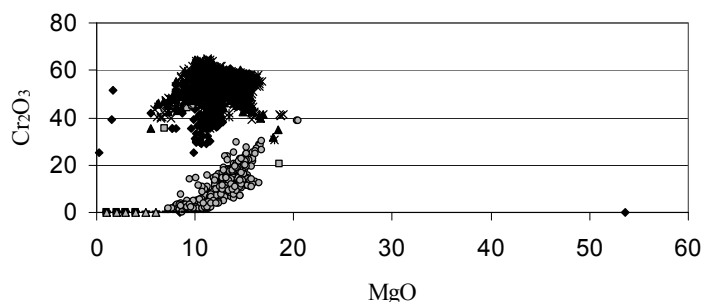


Рис. 7. Діаграма $MgO-Cr_2O_3$ для хромшпінелідів різних ділянок Приазовського блока, мас. %.

На гістограмах розподілу вмісту MgO та Cr_2O_3 у загальних вибірках хромшпінелідів з різних ділянок Приазовського блока (рис. 8) чітко виявлений один вузький максимум для MgO та незначно розширений – для Cr_2O_3 , що доводить наявність принаймні двох генерацій хромшпінелідів у проаналізованих породах.

Головним недоліком методів однозначної інтерпретації хромшпінелідів зі шліхових ореолів, які ґрунтуються на виділенні полів їхнього складу, є необхідність залучення великого об’єму аналітичних даних і неоднозначність висновків через широке перекриття полів на діаграмах практично всіх застосовуваних видів. Цього можна позбутися, якщо перейти від аналізу співвідношень полів складу до аналізу співвідношень їхніх трендів (якщо такі, звичайно, є). Форму й орієнтування трендів можна достатньо точно визначити уже за першим десятком аналізів складу хромшпінелідів, а різниця трендів, зазвичай, виражена чіткіше, ніж різниця полів складу.

У цьому сенсі важливо брати до уваги роль хромшпінеліду як “неправдивого” мінералу-індикатора алмазозносних порід [2]. Автори праці [2] зазначають, що в різновікових осадових колекторах алмазозносних регіонів світу та в багатьох потенційно алмазозносних районах, де провадять розшуки родовищ алмазних родовищ (у тім числі в Україні), трапляються специфічні за морфологією, однак подібні за складом до типових кімберлі-

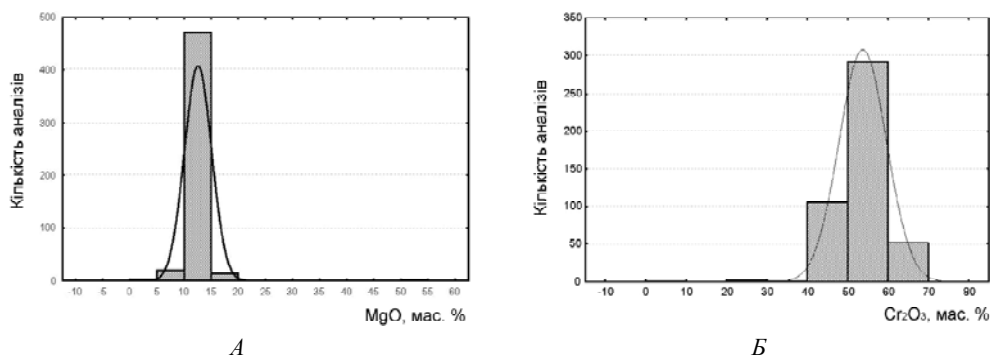


Рис. 8. Гістограми розподілу вмісту MgO (А) і Cr₂O₃ (Б) у загальних вибірках хромшпінелідів з різних ділянок Приазовського блока, мас. %.

А: $n = 510$; середнє значення – 12,44; стандартне відхилення – 2,49; максимальнє значення – 53,62, мінімальнє – 0,28; Б: $n = 451$; середнє значення – 53,40; стандартне відхилення – 5,84; максимальнє значення – 65,65, мінімальнє – 3,10.

тових чи лампроїтових хромшпінелідів, які називають “курунзькі” (за місцем їхньої першої знахідки на Улахан-Курунг-Юряхській ділянці в Якутії). Водночас у жодному з відомих кімберлітових чи лампроїтових тіл хромшпінелідів такого типу не виявили, тому наявність “курунзьких” хромшпінелідів змушує шукати інше їхнє джерело (наразі не визначене).

Для кристалів хромшпінеліду курунзького типу характерний яскраво виражений октаедричний габітус з домінуванням гострореберних і гостровершинних форм. Віципальних ділянок, які притупляють ребра й вершини октаедрів кімберлітових хромшпінелідів, на кристалах курунзького типу практично нема. Фіксують також скелетний і поліцентричний механізми росту, через що грані мають шарувату будову. Астеризм рефлексів на лауєграмах свідчить про підвищену дефектність кристалічної ґратки. За дефектної структури і складної мікротопографії граней виявлений матовий блиск поверхні за відсутності ознак магматичної корозії. За хімічним складом “курунзькі” хромшпінелідів подібні до мінералу з кімберлітів і лампроїтів, а найбільше вони схожі на хромшпінелідів із включень в алмазах.

У праці [2] зазначено, що хромшпінелідів курунзького типу наявні в різновікових осадових колекторах повсюдно і їхнім можливим джерелом є породи кусинського типу, тому пов’язувати їх з алмазами не варто.

Висновки. Під час прогнозування, розшуків та оцінювання промислового значення алмазоносних утворень важливу роль відіграють мінерали-супутники алмазу, які за низького його вмісту можуть слугувати індикатором його наявності. Ці мінерали-супутники, зазвичай, формувались неодноразово з алмазом, і лише в рідкісних випадках вони сингенетичні. Водночас мінерали, які супроводжують алмаз, можуть свідчити про генетичний тип алмазоносних порід, тому їхні знахідки та особливості їхнього морфології і складу важливі на ранніх етапах дослідження невідомих територій.

Нині відкрито низку комплексів алмазоносних порід, які поширені в районах розвитку докембрійських утворень, проте їхніх достовірних джерел не виявлено. Попри незначні масштаби їхнього економічного використання, вони важливі для визначення

джерел алмазонасності, особливо в разі наявності проб з комплексним мінеральним складом, тому їх потрібно вивчати.

Загальні моделі утворення алмазу в породах різного генетичного типу і промислових родовищах слугуватимуть обґрунтуванням для подальшого практичного використання мінералів, які асоціюють з алмазом.

Попри численні відомості про гранати, ільменіт і хромшпінеліди (як можливі супутники алмазу) з різних ділянок УЩ, наразі нема однозначних висновків про їхню природу, тому без додаткових досліджень їх не можна трактувати як індикатори алмазонасності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алмазонасные формации и структуры юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы. Опыт минерагении алмаза / Г. М. Яценко, Д. С. Гурский, Е. М. Сливко и др. – Киев : УкрГГРИ, 2002. – 331 с.
2. *Афанасьев В. П.* Поисковая минералогия алмаза / В. П. Афанасьев, Н. Н. Зинчук, Н. П. Похиленко. – Новосибирск : Гео, 2010. – 650 с.
3. Геология алмазов – настоящее и будущее (геологи к 50-летию юбилею г. Мирный и алмазодобывающей промышленности России). – Воронеж : ВГУ, 2005. – 1663 с.
4. *Гулій В.* Використання об'єктів-еталонів родовищ алмазу в ході прогнозно-розшукових робіт у проблематиці сучасної алмазонасності / В. Гулій, І. Побережська // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол. – 2013. – Вип. 27. – С. 81–93.
5. *Гулій В. М.* До питання про генетичне обґрунтування прогнозних та пошукових критеріїв алмазних родовищ / В. М. Гулій, В. М. Загнітко // Проблеми алмазонасності території України. – К., 2004. – С. 84–95.
6. *Джейкс А.* Кимберлиты и лампроиты Западной Австралии / А. Джейкс, Дж. Луис, К. Смит. – М. : Мир, 1989. – 430 с.
7. *Довгань Р. М.* Хмельницько-Одеський ортократон як головна літосферна мегаструктура країни Східноєвропейської платформи та його пошукова привабливість на алмази / Р. М. Довгань, В. А. Єнтін, В. М. Павлюк // Мін. ресурси України. – 2009. – № 1. – С. 6–10.
8. *Довгань Р. Н.* Бандуровская палеовулканическая структура и связанные с ней перспективы алмазонасности / Р. Н. Довгань, В. А. Ентин, В. Н. Павлюк // Мін. ресурси України. – 2006. – № 4. – С. 22–28.
9. *Калашник Г. А.* Результаты геохимических исследований под час проведения геолого-прогнозных работ на алмази в межах північно-східної частини Кіровоградського блоку Українського щита / Г. А. Калашник // Мін. ресурси України. – 2007. – № 1. – С. 8–11.
10. *Корольков А. Т.* Алмазная экспедиция 1947 г. Михаила Одинцова / А. Т. Корольков // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. – 2017. – Т. 22. – С. 82–91.
11. Мікрровключення у самотканських мікроалмазах та їх природа / В. Квасниця, Р. Вирт, Р. Томас, М. Таран // Геолог України. – 2006. – № 2. – С. 25–35.
12. *Моор Г. Г.* Перспективы алмазонасности севера Центральной Сибири / Г. Г. Моор // Проблемы Арктики. – 1940. – № 3. – С. 124–134.
13. Новый генетический тип алмазных месторождений / Л. Д. Лаврова, В. А. Печников, А. М. Плешаков и др. – М. : Научный мир, 1999. – 228 с.

14. Открытие века: алмазоносная кимберлитовая трубка Зарница / [под ред. Н. П. Юшкина]. – Сыктывкар : Ин-т геологии Коми НЦ УрО РАН, 2014. – 200 с.
15. Перспективы коренной алмазоносности Украины / Ю. В. Гейко, Д. С. Гурский, Л. И. Лыков и др. – Киев ; Львов : Центр Европы, 2006. – 200 с.
16. Поиски алмазов в Приазовском блоке Украинского щита / Е. М. Шеремет, М. А. Козарь, С. Н. Стрекозов и др. – Донецк : Ноулидж, 2014. – 367 с.
17. Раевский Э. И. Геология мезозойских и кайнозойских отложений и алмазоносность юга Тунгусского бассейна / Э. И. Раевский. – М. : Изд-во АН СССР, 1959. – 179 с.
18. Соболев В. С. Геология месторождений алмазов Африки, Австралии, острова Борнео и Северной Америки / В. С. Соболев. – М. : Госгеоллиздат, 1951. – 127 с.
19. Соболев В. С. Петрология трапшов Сибирской платформы / В. С. Соболев. – Л. : Изд-во Главного управления Севморпути, 1951. – 126 с.
20. Соболев Н. В. О минералогических критериях алмазоносности / Н. В. Соболев // Геология и геофизика. – 1971. – № 3. – С. 70–80.
21. Соболев Н. В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии / Н. В. Соболев. – Новосибирск : Наука, 1974. – 264 с.
22. Супруненко М. С. Про перспективи пошуків корінних джерел алмазів у межах Дубровської ділянки Шепетівської площі / М. С. Супруненко, М. М. Костенко, Б. Л. Висоцький // Мін. ресурси України. – 2008. – № 2. – С. 14–15.
23. Харьков А. Д. История алмаза / А. Д. Харьков, Н. Н. Зинчук, В. М. Зуев. – М. : Недра, 1997. – 601 с.
24. Цимбал Ю. С. Типоморфізм алмазу та його мінералів-супутників з осадових порід західної частини Українського щита / Ю. С. Цимбал. – К. : Наук. думка, 2014. – 207 с.
25. Aplicação da metodologia multidisciplinar de estudo das granadas mantélicas para avaliação do potencial diamantífero de kimberlitos, exemplo clássico: província de Arkhangelsk, Federação Russa / Viktor Konstantinovich Garanin, Woldemar Iwanuch, Galina Petrovna Kudriavtseva & Elena Rudolfovna Vasileva // Revista Brasileira de Geociências. – 2001. – Vol. 31, N 3. – P. 497–504.
26. Atkinson W. J. A review of the kimberlitic rocks of Western Australia / W. J. Atkinson, F. E. Hughes, C. B. Smith // Kimberlites. I: Kimberlites and related rocks. – Amsterdam : Elsevier, 1984. – P. 195–224.
27. Camsell C. A new diamond locality in the Tulameen District, British Columbia / C. Camsell // Econ. Geol. – 1911. – Vol. 6. – P. 604–611.
28. Clements B. The Canadian diamond business: 25 years and going strong / B. Clements // SEG Newsletter. – 2007. – N 108. – P. 11–18.
29. Diamonds in volcanoclastic komatiite from French Guiana / R. Capdevila, N. Arndt, J. Letendre et al. // Nature. – 1999. – Vol. 399. – P. 456–458.
30. Du Toit A. L. Recent diamond prospecting in South Africa / A. L. Du Toit // Econ. Geol. – 1930. – Vol. 25. – P. 653–657.
31. Freise F. W. The diamond deposits on the upper Araguaya River, Brazil / F. W. Freise // Econ. Geol. – 1930. – Vol. 25. – P. 201–207.
32. Hartog V. Petrographic note on the diamond-bearing peridotite of Kimberley, South Africa / V. Hartog // Econ. Geol. – 1909. – Vol. 4. – P. 438–469.
33. Harvey S. E. Kimberlites of Central Saskatchewan: Compilation and significance of indicator mineral geochemistry with respect to diamond potential / S. E. Harvey, B. A. Kjarsgaard, L. I. Kelley // Summary of Investigations. – 2001. – Vol. 2. – P. 147–161.

34. *Janse A. J. A.* History of Diamond Sources in Africa. Part II / A. J. A. (Bram) Janse // *Gems & Gemology*. – 1996. – Vol. 32, N 1. – P. 2–30.
35. Kimberlite-hosted diamond deposits of Southern Africa: A review / M. Field, J. Stiefenhofer, J. Robey, S. Kurszlaukis // *Ore Geology Reviews*. – 2008. – Vol. 34. – P. 33–75.
36. *Kjarsgaard B. A.* Kimberlite diamond deposits // *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods* [ed. by W. D. Goodfellow] / Bruce A. Kjarsgaard // *Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division*. – 2007. – Special Publication N 5. – P. 245–272.
37. *Layton-Matthews D.* Mineral chemistry: modern techniques and applications to exploration / D. Layton-Matthews, C. Hamilton, M. B. McClenaghan // *Application of Indicator Mineral Methods to Mineral Exploration : 26th Intern. Applied Geochemistry Symp., short course SC07* [ed. by M. B. McClenaghan, A. Plouffe, D. Layton-Matthews]. – *Geological Survey of Canada*, 2014. – P. 9–18.
38. *Marmo J.* Diamond exploration in Finland / J. Marmo, H. O'Brien, M. Lehtonen // *EXPLORE Newsletter*. – 2008. – N 138. – P. 8–11.
39. *Mazadiego-Martínez L. P.* The 15th International Geological Congress, South Africa (1929): The Resurgence of Wegener's Continental Drift Theory / Luis Felipe Mazadiego-Martínez, Octavio Puche-Riart // *Episodes*. – 2013. – Vol. 36, N 2. – P. 125–137.
40. *McClenaghan M. B.* Indicator mineral methods in mineral exploration / M. Beth McClenaghan // *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. – 2005. – Vol. 5. – P. 233–245.
41. *Miser H. D.* Diamond-bearing peridotite in Pike County, Arkansas / H. D. Miser, C. S. Ross // *Econ. Geol.* – 1922. – Vol. 17. – P. 662–674.
42. *Oppenheim V.* Diamonds in the Northeastern Bolivian Andes / V. Oppenheim // *Econ. Geol.* – 1943. – Vol. 38. – P. 658–661.
43. *Paulen R. C.* Kimberlite and base metal indicator minerals in glacial sediments of Northern Alberta, Canada / R. C. Paulen, A. Plouffe, I. R. Smith // *EXPLORE Newsletter*. – 2008. – N 138. – P. 1–7.
44. *Penrose R. A. F., Jr.* The Premier diamond mine, Transvaal, South Africa / R. A. F. Penrose, Jr. // *Econ. Geol.* – 1907. – Vol. 2. – P. 275–284.

Стаття: надійшла до редакції 06.09.2019
прийнята до друку 04.10.2019

Vasyl Guliy, Serhii Bekesha, Iryna Poberezhska

*Ivan Franko National University of Lviv,
4, Hrushevskoho St., Lviv, Ukraine, 79005,
vgul@ukr.net*

**PECULIARITIES OF TRADITIONAL MINERALS-INDICATORS
APPLICATION IN PROGNOSIS, EXPLORATION AND SEARCHING
OF POTENTIAL DIAMOND-BEARING OBJECTS**

Peculiarities of minerals-indicators application for prognosis and exploration of diamond-bearing rocks as well as its deposits are characterized. Since the first discovery of diamonds in the South Africa in the second part of the 19th century entailed new finds in surrounding places and in all over the world. Following these discoveries a set of new ideas on possible importance of some minerals which accompanied of diamond in placers or even hard rocks had been appeared among geologists-specialists and hunters for the nice and rich mineral. Garnet, ilmenite, spinel have been established as typical minerals in washing alluvial materials and hard rocks after mechanical recovery of diamonds from kimberlites. That time was a beginning of working out of special exploration methods to find similar objects or to determine specific of source rocks. Results of application of these minerals as indicators during prognosis and searching of diamonds among various diamond-bearing genetic types of rocks were positive. Chemical composition, shape and physical properties of garnet, Cr-spinel, Cr-diopside, ilmenite rich in titanium are regarded now as official data to determine perspective sectors or barren rocks. Some modifications of characteristic and list of indicator minerals had been changed in modern time due to troubles during exploring in regions with specific climate (for example, in Canada with extremely polar sedimentations) and in areas of development of another types of diamond bearing rocks (for example, in territories rich in metamorphic diamond bearing rocks of the Kumdykol type).

Probabilistic, but not genetic, relationship between diamond and coexisting indicator minerals is the most significant uncertainty in application of the indicator minerals for discovery new deposits. Second important problem is a great variation in amounts of indicator minerals and their specific forms from place to place even within very similar rocks. Geophysical survey (for example, different variants of magnetic survey) is very important addition to modern exploration methods. Discovery of the new diamond bearing Arkhangelsk Province was made mainly due to involving of magnetic survey with mineralogical investigations.

To determine possible genetic type of diamond bearing rocks is necessary before exploration and searching of potential diamond bearing objects. Erroneous points of view on possible origin of diamond bearing rocks even in areas with direct finds of diamond during testing of washing samples led to great mistakes in prognosis projects. For example, famous discovery of diamonds in limits of the Siberia Platform was made only after number of year's vain exploration because of utilization of indicator minerals which are typical for traps, skarns, PGE ores, but not for kimberlites.

We detected bases of minerals-indicators application during exploration of diamond-bearing rocks in Ukraine. Common order of different indicators testing for exploration projects was used during works at the different parts of the Ukrainian Shield, but without positive results. Some diamond finds suggested on a couple of different initial sources although it is only the beginning of long exploration. Obtained data on chemical composition of the garnet, ilmenite and Cr-spinel from different authors we estimated with series of typical diagram and histograms of distribution significant components to select perspective objects. Unfortunately, obtained concentrations of

figurative points at the diagrams create joint fields without any reasonable results. There is a necessity to do additional investigations in this direction.

Key words: diamond, mineral-indicators, exploration, searching, South Africa, Sakha (Yakutia), Ukrainian Shield.